

Mentioned in the
search report



①9 BUNDESREPUBLIK
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES
PATENTAMT

Offenlegungsschrift
⑩ DE 196 09 234 A 1

⑤1 Int. Cl.⁸:
H 01 J 17/00
H 01 J 19/24
H 01 J 19/30
H 01 J 9/02
H 01 J 27/26

②1 Aktenzeichen: 196 09 234.5
②2 Anmeldetag: 9. 3. 96
④3 Offenlegungstag: 11. 9. 97

DE 196 09 234 A 1

⑦1 Anmelder:
Deutsche Telekom AG, 53113 Bonn, DE

⑦2 Erfinder:
Koops, Hans W.P., Dr., 64372 Ober-Ramstadt, DE

⑤6 Für die Beurteilung der Patentfähigkeit
in Betracht zu ziehende Druckschriften:

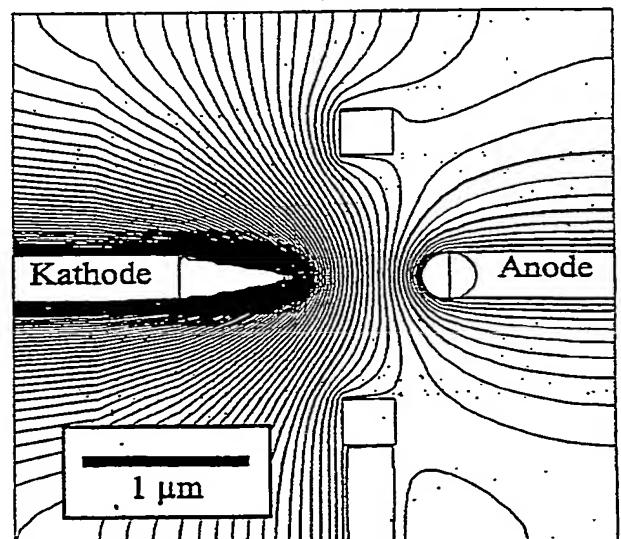
DE	195 02 986 A1
US	54 48 133
US	53 97 957
US	52 45 247
US	51 50 019
US	47 21 885
EP	05 70 211 A1
EP	05 25 763 A1
EP	05 20 780 A1
EP	04 90 536 A1
EP	04 43 865 A1

IANNAZZO, S.: A Survey Of The Present Status Of
Vacuum Microelectronics. In: Solid-State
Electronics, Vol.36, No.3, 1993, S.301-320;
JP 5-36358 A., In: Patents Abstracts of Japan,
E-1383, June 17, 1993, Vol.17, No.319;

⑤4 Röhrensysteme und Herstellungsverfahren hierzu

⑤7 Bei den bekannten Röhrensystemen werden die obere Grenzfrequenz und die Rauscheigenschaften durch die bekannten Verfahren zur Herstellung von miniaturisierten Mehr-Elektroden-Röhren, das sind Dioden, Trioden-Röhre und Mehrelektroden-Röhren, begrenzt. Die beschriebenen Röhrensysteme bestehen aus einer oder mehreren parallel geschalteten Feldemissions- oder Feldionisation-Kathoden für Elektronen oder Ionen, einer Gitter-Elektrode mit einer oder mehreren ringförmigen Öffnungen und einer oder mehreren Anoden. Alle Elektroden werden mit Hilfe der Korpuskularstrahl-Lithographie mit indizierter Deposition nacheinander oder gleichzeitig auf einer die Spannungen zuführenden planaren Leiterbahnstruktur aufgebaut. Der Elektrodenabstand wird dabei so klein gewählt, daß im Mittel nur eine mittlere freie Weglänge der Moleküle bei Normaldruck zwischen die Emitter und Anoden-Elektrode paßt. Die Anwendungsmöglichkeiten der Erfindung sind sehr universell, beziehen sich aber bevorzugt auf die Höchstfrequenztechnik.

Mikro-Triode



Gitter

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

BUNDESDRUCKEREI 07. 97 702 037/452

10/26

BEST AVAILABLE COPY

DE 196 09 234 A 1

Beschreibung

Die Erfindung bezieht sich auf Röhrensysteme der im Oberbegriff des Patentanspruchs 1 näher definierten Art und auf ein Herstellungsverfahren für solche Röhrensysteme. Derartige Mikro-Röhrensysteme sind in der Vakuum-Mikroelektrotechnik bekannt [Brodie, J. J. Muray "The physics of micro and nano-fabrication" Plenum Press, NY (1992)].

Solche Röhrensysteme sind mit "Spindt"-Kathoden genannten lithographisch gestellten Kathoden ausgerüstet. Diese Kathoden werden mit komplizierten lithographischen Verfahren in Mehrlagen-Strukturierung mit optischer oder Korpuskularstrahl-Lithographie mit teilweise selbstjustierenden Verfahren hergestellt. Dabei kann die Feldemissions-Kathode aus Silizium geätzt, mit Schwermetallen bezogen oder aus Metall durch Aufdampfen aufgebaut werden. Die Reproduzierbarkeit der Herstellungsverfahren ist dabei jedoch so gering, daß stets viele in einem Array angeordneten Kathoden eingesetzt werden müssen, um die Emittanz der Kathode zu gewährleisten und den erforderlichen niedrigen Innenwiderstand "Transconductance" der Röhre zu erreichen.

Durch die Vielzahl der in Flächen angeordneten Kathoden wächst die parasitäre Streukapazität der Anordnung und begrenzt die Systeme auf den Betrieb bei wenigen GHz, wie der erwähnten Literaturstelle [Brodie, J. J. Muray "The physics of micro and nano-fabrication" Plenum Press, NY (1992)] entnehmbar ist.

Aufgabe der Erfindung ist es, Röhrensysteme zu schaffen, die für wesentlich höhere Frequenzen geeignet sind und hierzu ein praktikables Herstellungsverfahren anzugeben.

Die Erfindung löst den ersten Teil dieser Aufgabe mit einem im Kennzeichen des Patentanspruchs 1 beschriebenen System.

Eine vorteilhafte Weiterbildung hierzu ist im Kennzeichen des Patentanspruchs 2 beschrieben.

Den zweiten Teil dieser Aufgabe löst ein Herstellungsverfahren entsprechend dem Kennzeichen des Patentanspruchs 3.

Eine vorteilhafte Weiterbildung dieses Verfahrens ist im Kennzeichen des Patentanspruchs 4 beschrieben.

In den nachfolgenden Ausführungsbeispielen wird die Erfindung mit ihren vielfältigen Variationsmöglichkeiten und Wirkungsvarianten näher erklärt. In den zugehörigen Zeichnungen zeigen die

Fig. 1 Prinzipaufbau für Diode, Triode und Ablenk-Tetrode mit THz-Schalteigenschaften,

Fig. 2 Oben: Triode aus Kathode, Emitter und Anode. Unten: Triode aus mehreren Kathoden, Gitter und Anode zur Vergrößerung des Emissionsstromes,

Fig. 3 Mikro-Triode mit Potentialverlauf, Kathode 0 V, Gitter 50 V, Anode 60 Volt,

Fig. 4 Mikro-Pentode aus Feldemitter-Kathode K, Gittern G1 bis G3 und Anode A mit Potentialen,

Fig. 5 Mikro-Röhren aufgebaut mit Hilfe der Elektronenstrahl-induzierten Deposition und Rechnersteuerung im Rasterelektronenmikroskop, Oben Aufsicht, unten Seitenansicht von 2 Röhren,

Fig. 6 Schrägbild von 2 Mikroröhren-Aufbauten aus Platinhaltigem nanokristallinem Material.

Die beschriebenen Röhrensysteme bestehen aus einer oder mehreren parallel geschalteten Feldemissions- oder Feldionisation-Kathoden für Elektronen oder Ionen, einer Gitter-Elektrode mit einer oder mehreren ringförmigen Öffnungen und einer oder mehreren An-

oden. Alle Elektroden werden mit Hilfe der Korpuskularstrahl-Lithographie mit induzierter Deposition nacheinander oder gleichzeitig auf einer die Spannungen zu führenden planaren Leiterbahnstruktur aufgebaut. Der Elektrodenabstand wird dabei so klein gewählt, daß im Mittel nur eine mittlere freie Weglänge der Moleküle bei Normaldruck zwischen die Emitter und Anoden-Elektrode paßt. Bei Luft und Normaldruck ist diese Strecke ca. 0,5 µm groß.

Um elektrische Überschlüge durch das Wachstum von Molekülketten, das oberhalb 10^6 V/cm einsetzt, zu vermeiden, sind die Spannung zu führenden Elektroden dick und die Leiterbahnen weit auseinander ausgeführt. Durchmesser von 0,1 µm und Abstände von $> 0,5$ µm reichen dabei aus, um die Feldstärken in der Röhre bei der Betriebsspannung von < 50 V unter der für dauerhaften Betrieb erforderlichen Grenze zu halten.

Derartige Röhren benötigen kein oder nur ein mildes Vakuum (1 Torr) für den dauerhaften Betrieb und werden deshalb nicht Vakuum-mikroelektronische Röhren, sondern miniaturisierte Mehr-Elektroden-Röhren genannt. Die Röhren können mit verschiedenen Polaritäten betrieben werden, da Elektronen bei $2 \cdot 10^7$ V/cm und Wasser bei 10^7 V/cm ionisiert wird. Diese Feldstärken werden erreicht, wenn nicht geätzte Einkristalle als Feldemitter oder Feldionisierer verwendet werden, sondern, denn die nanokristallinen Verbundmaterialien, die bei der Elektronenstrahl- oder Ionenstrahl-induzierten Deposition entstehen, verwendet werden.

Diese Materialien sind nanokristallin und können als Superspitzen auf stumpfe vorgefertigte Spitzen oder Elektroden aufgesetzt werden. Durch ihren nanokristallinen Aufbau emittieren diese Superspitzen oder ionisieren diese absorbiertes Wasser oder andere Gase schon bei den angegebenen Feldstärken, die bei den niedrigen Spannungen unter 50 V bereits erreicht werden, wenn der Kathoden-Anoden-Abstand kleiner als die mittlere freie Weglänge der Gase bei Normaldruck ist. Derartige Röhren besitzen sehr kleine Kapazitäten und eine unter 1 ps liegende Flugzeiten der Elektronen oder < 40 psec der Ionen. Das bedeutet, diese Röhren können in der Höchsfrequenztechnik mit Erfolg als elektronisches Bauelement eingesetzt werden. Durch den geringen Platzbedarf von wenigen µm² können mehrere dieser Röhren in naher Nachbarschaft zu Rechenschaltungen zusammengeschaltet werden. Mit der Korpuskularstrahl-induzierten Deposition können auch Widerstände mit sehr geringen Kapazitäten, kleine Kapazitäten und Induktivitäten mit um Abmessungen hergestellt und in die Schaltungen eingebaut werden, so daß die integrierte Röhren-Elektronik für GHz-Anwendungen möglich wird.

Diode, Trioden, Tetroden, Pentoden, miniaturisierte Beschleuniger und Filter und andere korpuskularstrahl-optische Anordnungen können mit dieser Technik aufgebaut werden. Spitzen als Feldemissionskathoden für Elektronenemitter und für Ionenemitter können in auf andere vorgefertigte Schaltungen und Röhren eingesetzt werden und so die erforderliche Betriebsspannung stark gesenkt werden. Mit Hilfe der Elektronenstrahl-induzierten Deposition kann mit Nanometer-Präzision nanokristallines Verbundmaterial zu nanoelektronischen Baugruppen und Schaltungen in eine vorgelegte Verdrahtungsebene hinein aufgebaut werden.

Mit dieser neuartigen Technik, die neuartiges Material und Rechnersteuerung und Automatisierung benützt, können neuartige, bisher nicht erreichte Leistungen erreicht werden.

Einige bevorzugte Ausführungsformen von Röhrensystemen, die auf einem isolierenden Medium auf in Planartechnik mit Lithographie vorgefertigten Leiterbahnstrukturen Feldemissions-Kathoden mit passivem Stromstabilisier-Widerstand aufgebaut sind, und denen gegenüber wenigstens eine Anode aus einem oder mehreren Drähten zugeordnet sind, sind:

- eine Diode mit Feldelektronen-Emitter geschaltet und mit Elektronen betrieben,
- eine Diode als Ionen-Emitter geschaltet und mit H_3O^+ -Ionen betrieben, (da an Luft alle Oberflächen mit Wasser überzogen sind und daher bei Feldstärken über 10^7 Volt/cm die Feldionisation einsetzt und den Röhreninnenwiderstand bestimmt),
- eine Triode herkömmlicher Bauart, welche auch wieder mit Ionen oder Elektronen betrieben werden kann, bei der außer Kathode und Anode ein Gitter in Form von einer oder mehreren Öffnungen oder auch nur in Form von 2 Stäben ohne obere und untere Begrenzung des Feldes zwischen die beiden Elektroden geschaltet ist,
- eine Tetrode bzw. Pentode, bei der dem ersten Gitter eins oder mehrere Gitter nachgeschaltet sind,
- eine Tetrode bzw. Pentode, bei der dem ersten Gitter mehrere Gitter und Teilgitter nachgeschaltet sind, und die durch zwei Potentialzuführungen getrennt einschaltbar sind, und dadurch zusätzlich auch noch ein schnelles Schalten zwischen zwei gegeneinander isoliert angebrachten Anoden ermöglichen.

Alle diese Röhren können in mäßigem Vakuum von 1 Torr betrieben werden, so daß die mittlere freie Weglänge der Elektronen oder Ionen in dem Gas bei diesem Druck so eingestellt ist, daß die Röhre durch die Röhrendimensionen funktionsfähig wird.

Die Röhren können in einem evakuierten Gefäß hermetisch gekapselt und die elektrischen Zuführungen durch die Kapselung als Dünnschicht-Leitungen geführt sein oder die elektrischen Zuführungen sind durch die Wände der Kapselung als Durchführungsdrähte in isolierend gefüllten Bohrungen ausgeführt.

Mehrere Röhren, ja ganze Schaltungen können in einem größeren mit geeignetem Druck und Gas oder Wasser vom ausreichenden Partialdruck gefüllten Vakuumraum aufgebaut und hermetisch abgeschlossen sein und der Hohlraum kann mit einem eingebrachten Getterstoff konstant auf Vakuum gehalten werden, wie das in der Röhrentechnik üblich ist.

Zur Erzielung eines geringeren Röhreninnenwiderstandes und um den Emissionsstrom zu erhöhen, können mehrere Elektronen- oder Ionen-Emitter parallel geschaltet sein.

Die den Elektronen- oder Ionen-Emittern vorgeschalteten Widerstände zur passiven Stromregelung der Emitter können, entsprechend der Stellung in der Röhre, in ihrer Größe so ausgebildet sein, daß die Feldstärkevariation in der Röhre ausgeglichen wird und gleichmäßige Strom-Emission aus den einzelnen Kathoden erzielt wird.

Mit der Korpuskularstrahl-induzierten Deposition können leitfähige und isolierende Drähte in der Ebene und im Raum aufgebaut werden. Die Drahtdurchmesser sind ca. $0,1 \mu m$, die Länge bis $10 \mu m$. Die Drähte können $2 MA/cm^2$ große Stromdichten vertragen. Der Wert ist

8 mal höher als zum Beispiel bei Aluminium ($250\,000 A/cm^2$). Feldemission ist aus den Drahtspitzen möglich mit ca. 15-fach geringerem Innenwiderstand pro Emitter als bei herkömmlichen Feldemittern der Vakuummikroelektronik. Feldemitter-Elektronenquellen können mit dieser Technik mit eingebautem Strom-Stabilisierwiderstand aufgebaut werden. Damit arbeitet jede Spitze unabhängig und kontrolliert und in ihrem Emissionsstrom passiv stabilisiert. Damit wird die Anforderung nach Redundanz an die Spitzen in der Röhre oder in die parallel angeordneten Emitter verringert.

Die Drähte enden in einer sehr feinen Spitze mit Radien $> 5 nm$, aber mit nanometergroßen Kristallen, die aus der Spitze herausragen und dadurch eine Feldverstärkung bewirken. Das äußert sich in einer stark verringerten Extraktionsspannung für den Feld-Elektronenstrom. Der Widerstand der deponierten Materialien ist über die Depositions-Bedingungen im Bereich von 5 Größenordnungen einstellbar. Mit der rechnergesteuerten Deposition werden 3-dimensionale Strukturen hergestellt, die als Elektrode für Mikro-Röhren und Röhrensysteme dienen, die einzelne Strahlen erzeugen, oder die vielfach nebeneinander hergestellt werden können. Damit ist eine Technik gefunden, mit der vielfache Elektronenstrahlen auf lithographischen Schaltungen und Trägerplatinen hergestellt werden können, die dann wiederum als Produktionsmittel für Depositions-Strukturen einsetzbar sind. Damit ist die Produktionstechnik gefunden, mit der Mikroröhren, Dynatron-Oszillatoren und schnelle verstärkende Schalter oder auch schnelle mit 100 GHz löschbare Digital-Speicher in paralleler Herstellungstechnik produziert werden können.

Durch die Feinheit der Definition der Materialerzeugung bei der Korpuskularstrahl-induzierten Deposition mit Rechnersteuerung können neuartige Röhren Bauelemente, Differenzverstärker und Schaltungen ohne die Verwendung von Halbleitermaterialien direkt aufgeschrieben werden. Diese Schaltungen können auf Grund der Kleinheit und der Nanometerpräzision bei höheren Frequenzen, als sie mit herkömmlichen Röhren erreichbar sind, betrieben werden. Die Herstellungstechnik für elektronische Schaltungen ist stark vereinfacht, die Packungsdichte stark erhöht.

Als erstes Anwendungsbeispiel zeigt Fig. 1 den Prinzipaufbau für eine Diode, Triode und Ablenk-Tetrode mit THz-Schalteigenschaften. Bei der Ablenk-Tetrode kann der Verstärkungsfaktor und eine überlagerte Schaltung auf 2 Anoden durchgeführt werden, was einen besonders stabilen Betrieb ermöglicht.

Die Fig. 2 zeigt oben eine Triode aus Kathode, Emitter und Anode und unten eine Triode aus mehreren Kathoden, Gitter und Anode zur Vergrößerung des Emissionsstromes und Verringerung des Innenwiderstandes.

In Fig. 3 ist eine Mikro-Triode mit Potentialverlauf wiedergegeben. Die Kathode liegt dabei auf 0 V, das Gitter auf 50 V und die Anode auf 60 V. Durch mehrere Gitter, die zwischen Kathode und Anode eingebaut werden, können Mehr-Elektrodenröhren, Beschleuniger und Verzögerer und andere Röhren aufgebaut werden.

In Fig. 4 ist eine Mikro-Pentode aus Feldemitter-Kathode K, Gittern G1 bis G3 und Anode A mit Potentialen dargestellt.

Bereits realisierte Aufbauten zu Trioden sind in Fig. 5 wiedergegeben. Hier ist der Aufbau zweier Mikro-Röhren dargestellt. Die Röhren sind in nicht optimierter Form mit Hilfe der Elektronenstrahl-induzierten Depo-

sition und Rechnersteuerung im Rasterelektronenmikroskop aufgebaut.

Oben sind die beiden Röhren in Aufsicht und unten in Seitenansicht wiedergegeben.

Die Fig. 6 zeigt 2 Mikroröhren-Aufbauten aus platinhaltigem nanokristallinem Material im Schrägbild. Das Bild zeigt die technische Machbarkeit für die Strukturierung mit Additiver Lithographie.

Die Fig. 5 und 6 zeigen den erstmaligen Aufbau der Anordnung aus bestehenden Makros "FEBOGEN" und "STACIR" mit Hilfe der VIDAS Strahlsteuerung am JSM 840 F. Die Anoden-Drähte sind in 1 min gewachsen. Durch Variation der Parameter kann die Höheneinstellung der Spitzenlage zum Gitter-Viereck noch optimiert werden. Durch Parametervariation im Makro "STACIR" kann ein annähernd rundes Gitter erzeugt werden.

Durch geeignete Depositionsbedingungen kann die die Spitze tragende Haarnadel als niederohmiges Heizelement und der die Spitze tragende Schaft als hochohmiger passiver Stabilisierwiderstand ausgebildet werden. Durch Hitzen der Spitze können adsorbierte Gase desorbiert werden und die Emission im Betrieb stabilisiert werden. Dies wird auch durch andauernde Heizung oder gelegentliches "flashen", d. h. kurzes Aufheizen der Spitze erreicht, wobei die Spitze durch diese Verfahren in konventioneller Weise gereinigt wird.

Die mit den Trioden erreichbaren Kenndaten lassen sich aus folgenden Daten ermitteln. Die Feldemitter-Röhre arbeitet bei 150 μ A Emissionsstrom, bei einer Beschleunigungsspannung $U_{\text{extr}} < 10$ V. Dann beträgt der Innenwiderstand ("transconductance") $R_i > 15 \mu$ S. Konventionelle Feldemitter kommen auf 1–2 μ S! Die Feldemissions-Röhre kann auf verschiedene Weise geschaltet werden:

1. Anlegen Schaltspannung auf die Extraktionsspannung an der Spitze von $-U_{\text{ext}}$. Der Extraktor und die Anode sind dabei auf 0 V oder positiv.
2. Anlegen der Schaltspannung auf den Extraktor auf $+U_{\text{ext}}$. Die Spitze liegt dabei auf 0 V.
3. Ablenkung des Strahles mit Ablenkplatten $U_p < 10$ V, indem das Extraktionsgitter zweigeteilt wird und an die beiden Hälften unterschiedliche Spannungen angelegt werden. Dann wird der Strahl auf die beiden getrennt aufgebauten Anoden gelenkt (Schaltröhre mit Dauerstrahl).

Die zu ladende Speicherkapazität beträgt $C = \epsilon_0 \cdot \epsilon_r \cdot F/d = 8.86 \cdot 10^{-12} \cdot 1 \cdot (0.2 \cdot 10^{-6})^2 / 10^{-6} \text{ As/V} = 3.5 \cdot 10^{-18} \text{ F}$.

Bei einem Stabdurchmesser von 0.2 μ m und einer Länge von 1 μ m im Abstand von 1 μ m und mit dem Dielektrikum von Vakuum oder Luft $\epsilon_r = 1$ hat die Kapazität die Größe von 3.5 attoFarad. Um diese Kapazität auf 5 Volt Ablenkspannung zu laden, ist eine Ladung von $Q = C \cdot U = 1.6 \cdot 10^{-17} \text{ As} = 100 e = 100$ Elektronen! erforderlich. Diese Ladung kann in 1 psec (1 THz) mit einem Strom von 16 μ A eingebracht werden. Der statistische Fehler ist dann 10% oder $SN = 10$ (entspricht dem Signal-Rausch-Verhältnis).

Das Schalten mit 0.1 ps kann bei 160 μ A Entladestrom erfolgen (Spannungspuls an der Extraktor-Röhre). Damit übertreffen diese ohne Halbleitermaterialien aufgebauten Röhren die aus III/V- oder II/VI-Halbleitern aufgebauten Schaltungen hinsichtlich ihrer Schaltgeschwindigkeit erheblich.

Patentansprüche

1. Röhrensystem bestehend aus Mehrelektroden-Anordnungen mit beliebigen Kombinationen von Elektroden, Verbindungen und Funktionen, die in einem evakuierten Gefäß hermetisch abgeschlossen gekapselt sind, dadurch gekennzeichnet, daß die Elektroden und deren Abstände so klein gewählt sind, daß im Mittel nur eine mittlere freie Weglänge der Moleküle bei Normaldruck zwischen die Emitter und Anoden-Elektrode paßt, daß dabei die Spannung zuführenden Elektroden dick und die Leiterbahnen weit auseinander ausgeführt, die Kathoden/Emitter in Nadelform nanokristallin bzw. als Superspitzen auf stumpfe vorgefertigte Spitzen bzw. Elektroden aufgesetzt ausgebildet sind, und daß die evakuierten Gefäße Restgase besonders definierter Arten und Druckbereiche enthalten.
2. Röhrensysteme nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß Röhrensysteme unterschiedlicher Betriebsarten durch unterschiedliche Ergänzungen mit Gittern, Anoden und anderen integrationsfähigen Bauelementen, sowie durch Trennung in über Durchführungen verbundene Teilgefäße miteinander verbunden sind.
3. Herstellungsverfahren für Röhrensysteme, dadurch gekennzeichnet, daß auf einem in Planartechnik mit Lithographie vorgefertigten isolierenden Medium mittels rechnergesteuerter Korpuskularstrahlinduzierten Deposition in teils gleichzeitigen und teils aufeinanderfolgenden Schritten mit Nanometer-Präzision nanokristallines Verbundmaterial zu nanoelektronischen Baugruppen und Schaltungen in eine vorgelegte Verdrahtungsebene hinein aufgebaut werden, die zuletzt in ein Gefäßsystem eingeschlossen werden während gleichzeitig die Betriebsart der Röhren mittels der Art und des Druckes der Restgase bestimmt wird.
4. Herstellungsverfahren für Röhrensysteme nach Anspruch 3, dadurch gekennzeichnet, daß Röhren als Ionen-Emitter verwendet und mit H_3O^+ -Ionen betrieben werden, indem ungetrocknete bzw. aus einem Vorrat gezielt befeuchtete Restgase verwendet werden, bis bei Feldstärken über 10^7 Volt/cm die Feldionisation einsetzt und den Röhreninnenwiderstand bestimmt.

Hierzu 6 Seite(n) Zeichnungen

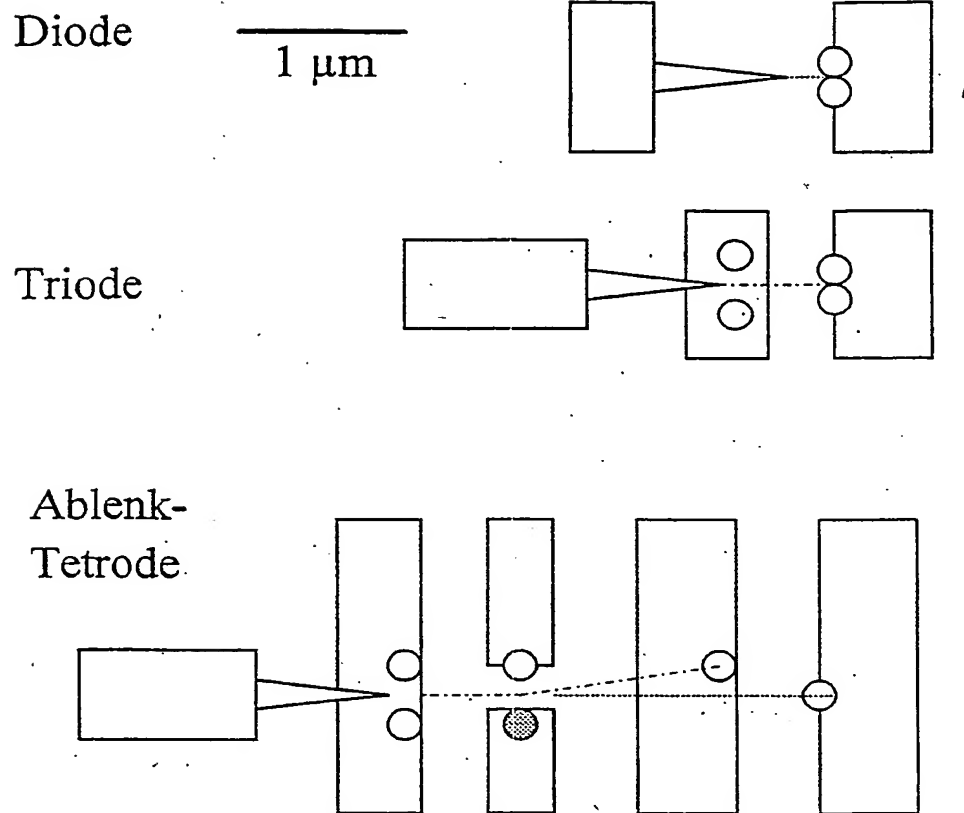
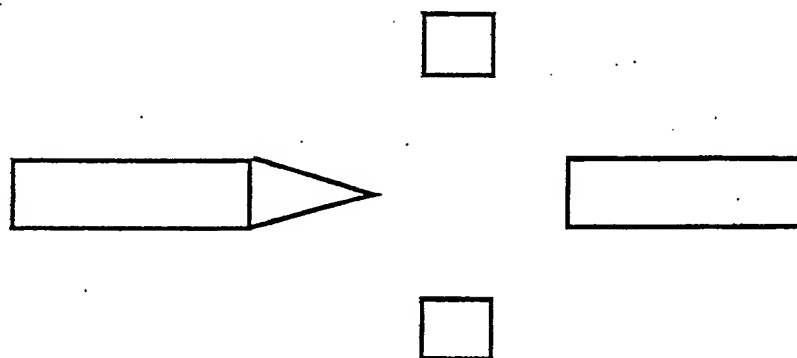


Fig. 1

✕

Triode aus FE-Kathode, Gitter und Anode



Triode aus FE-Kathoden, Gitter und Anode

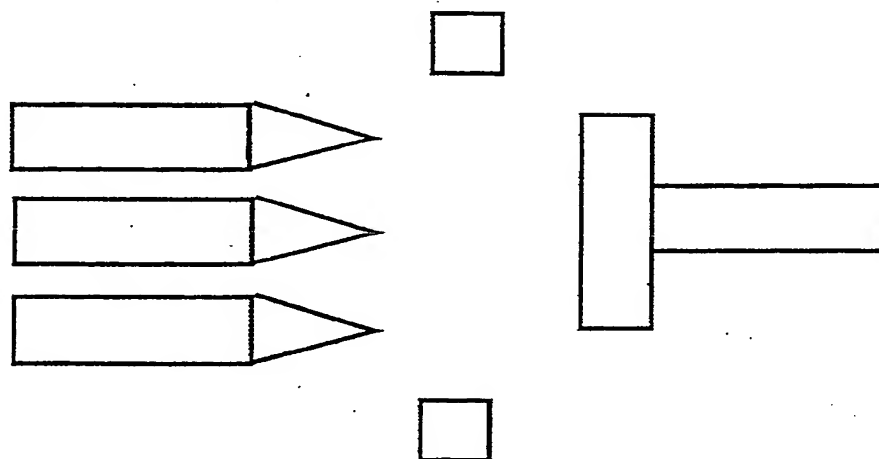


Fig. 2

Mikro-Triode

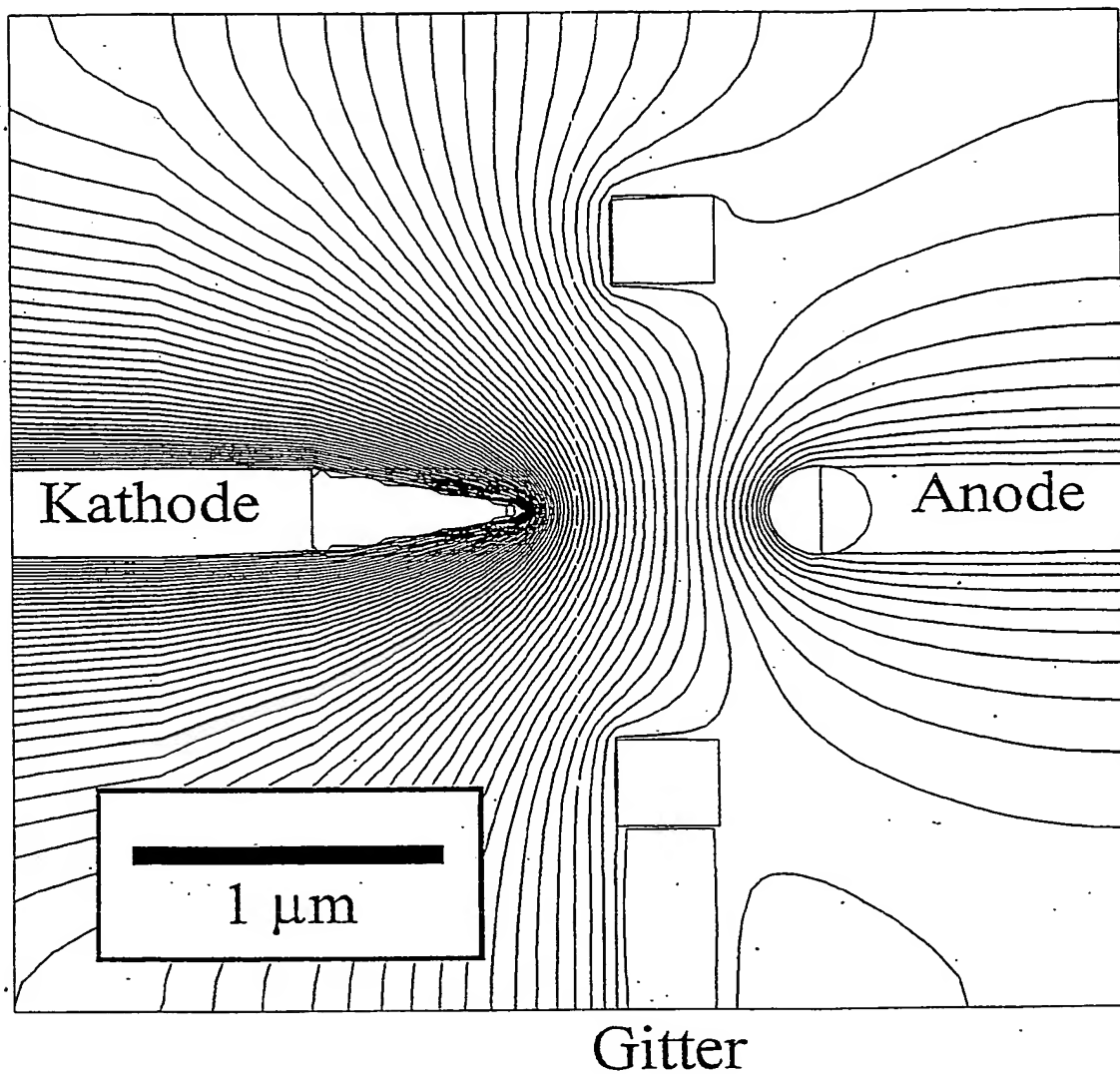


Fig. 3

Mikro-Pentode mit FE-Kathode, 3 Gittern und Anode

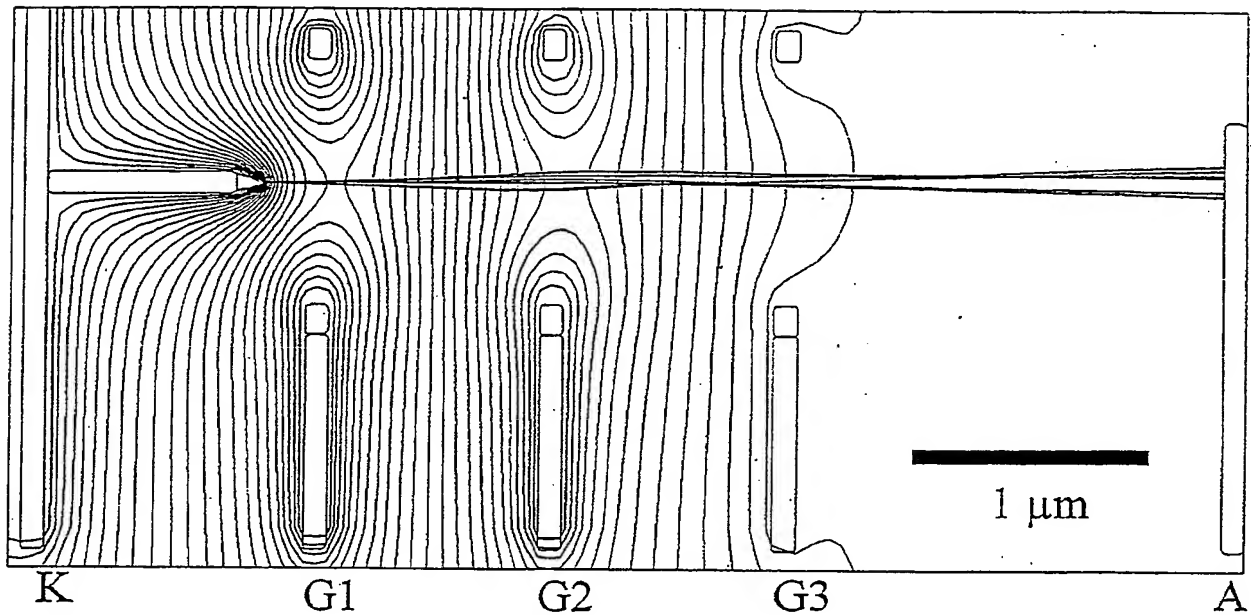


Fig. 4

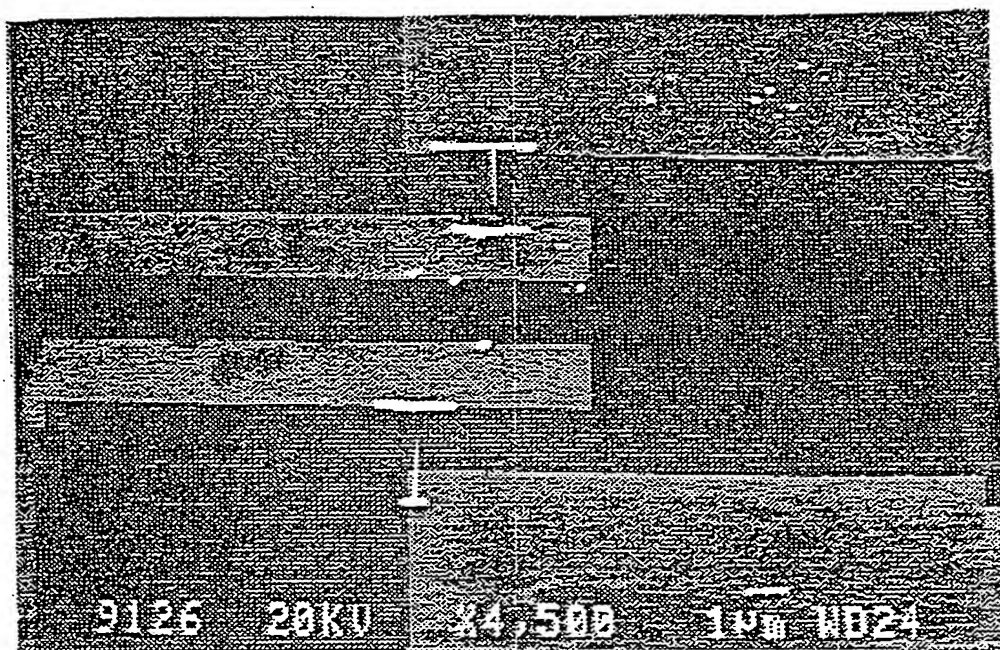


Fig. 5

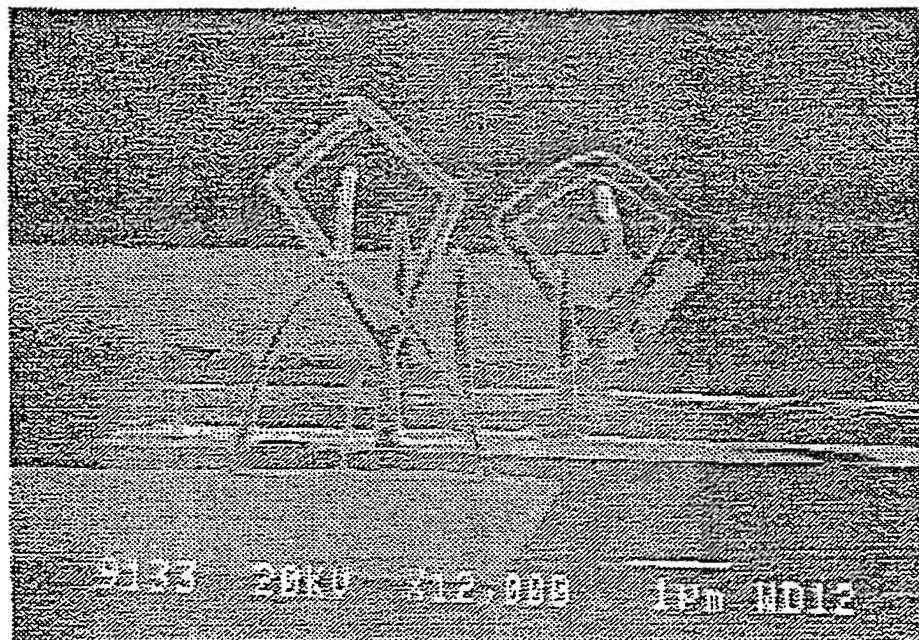


Fig. 6